

| | |
|---------------------|--|
| Requested document: | JP11074558 click here to view the pdf document |
|---------------------|--|

GALLIUM NITRIDE GROUP COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

Patent Number:

Publication date: 1999-03-16

Inventor(s): NOZAKI CHIHARU; JOHN LENEY

Applicant(s): TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO

Requested Patent: ☐ [JP11074558](#)

Application Number: JP19970231044 19970827

Priority Number(s): JP19970231044 19970827

IPC Classification: H01L33/00; H01S3/18

EC Classification:

Equivalents: JP3457516B2

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To lower a contact resistor arising between a p-side electrode and a p-side contact layer, while low threshold value or low operation voltage does not cause degradation, but obtain improved reliability. SOLUTION: Relating to the GaN group semiconductor laser, an n-GaN contact layer 3, an n-AlGaIn clad layer 4, a GaN waveguide layer 5, an MQW active layer 6, a GaN wave-guide layer 6, a p-AlGaIn clad layer 8, and a p-GaN contact layer 9, each of which is single crystal, are grown on a sapphire substrate 1, and p-side electrodes 11 and 12 of Pt/Au are formed on a part of the contact layer 9, and a part of such range from the contact layer 9 to the clad layer 4 is etched, and, on an exposed contact layer 3, an n-side electrode 13 of Ti/Au is formed. Here, between the contact layer 9 and the p-side electrodes 11 and 12, a polycrystal GaN layer 10 wherein, being 10 nm or less in thickness, carrier concentration is $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ or more, is inserted.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-74558

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) IntCl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-731044

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月27日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 野崎 千晴

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

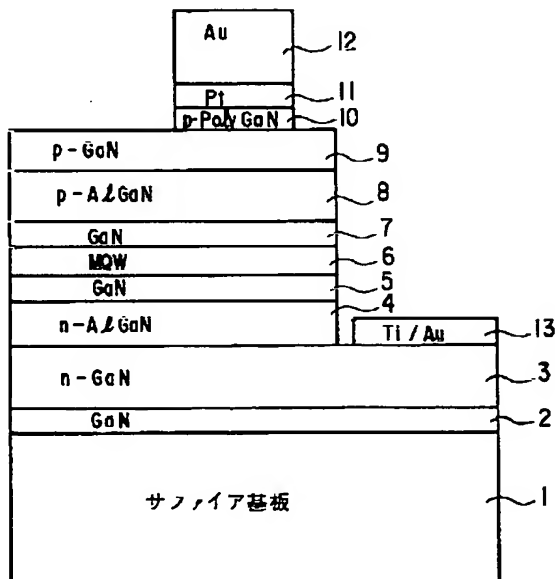
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 p側電極とp側コンタクト層との間に生じるコンタクト抵抗を低くすることができ、低しきい値電流、低動作電圧で劣化を起こさず、信頼性の向上をはかる。

【解決手段】 サファイア基板1上にそれぞれ単結晶の、n-GaNコンタクト層3、n-AlGaInクラッド層4、GaN導波層5、MQW活性層6、GaN導波層7、p-AlGaInクラッド層8、p-GaNコンタクト層9を成長形成し、コンタクト層9上の一部にPt/Auからなるp側電極11、12を形成し、コンタクト層9からクラッド層4までを一部エッチングして露出したコンタクト層3上にTi/Auからなるn側電極13を形成したGaN系半導体レーザにおいて、コンタクト層9とp側電極11、12との間に、厚さが10nm以下でキャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上の多結晶のGaN層10を挿入した。



【特許請求の範囲】

【請求項1】単結晶の窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子であって、

前記ダブルヘテロ構造のp側コンタクト層とp側電極との間に多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してなることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項2】前記単結晶の窒化ガリウム系化合物半導体は、 $Ga_{x1}In_{y1}Al_{z1}N$ ($x1+y1+z1=1$, $0 \leq x1$, $y1$, $z1 \leq 1$) からなり、前記多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、 $Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N$ ($x2+y2+z2=1$, $0 \leq x2$, $y2$, $z2 \leq 1$) からなり、前記p側コンタクト層はMgを添加したものであることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項3】前記多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、厚さが10nm以下であり、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のp型であることを特徴とする請求項1又は2記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項4】単結晶の窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子の製造方法において、

前記ダブルヘテロ構造の一方側に有機金属気相成長法によりp型コンタクト層を形成した後に、該コンタクト層上に蒸着法又は有機金属気相成長法により多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成し、次いで多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層上にp側電極を形成することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた青色半導体レーザや高輝度青／緑色発光ダイオード等に係わり、特にp側コンタクト部の改良をはかった窒化ガリウム系化合物半導体素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、短波長半導体レーザは、InGaAlP材料を用いた600nm帯の光源によりディスクの読出し／書込みのいずれも可能なレベルに特性改善され、既に実用化されている。そこで、更なる記録密度向上を目指して、より波長の短い青色半導体レーザが盛んに開発されている。発振波長の短いレーザ光は集光サイズを小さくでき、記録密度を高めるには有効であるからである。

【0003】Ga_N、InGa_N、GaAl_N、InGaAl_Nなどの窒化ガリウム系化合物半導体は、禁制帯

幅が極めて広いことから短波長の発光を期待できるため、高密度光ディスクシステム等への応用を図る短波長半導体レーザの材料として注目されている。

【0004】例えば、Ga_N系材料を用いた半導体レーザでは、波長380～417nmのパルス発振が確認されているが、十分な特性が得られず、室温パルス発振におけるしきい値電圧は、10～40Vと高い値である上にばらつきが大きい。

【0005】これは、窒化ガリウム系化合物半導体層の結晶成長が難しいことと、素子抵抗が大きいことに起因する。即ち、高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体層を形成できないことと、p側電極コンタクト抵抗が高いことにより、大きな電圧降下を招き、パルス発振動作でさえ発熱や金属反応による劣化を生じることにより起因する。

【0006】また、レーザ発振に必要な電流を注入すると、p型の窒化ガリウム系化合物半導体層が良質な結晶ではなく、下層から上層への成長方向に沿って微細な複数の孔を有する欠陥があるため、局所的に高い電流が流れ、活性層に均一にキャリアを注入できないばかりか、瞬発的な素子破壊を起こすので、連続発振に至らない問題もある。

【0007】このように、光ディスク等への実用に供する低しきい値電流、低しきい値電圧で動作し、信頼性の高い窒化ガリウム系青紫色半導体レーザを実現させるためには、活性層へのキャリア注入を効率的に且つ均一に行うとともに電極コンタクトでの電圧降下の抑制が重要であるものの、現状ではこれを実現するのは極めて困難となっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上のように窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは、p側電極コンタクト抵抗が高いために、電極コンタクトで大きな電圧降下を生じ、低しきい値電流、低動作電圧の素子の実現が困難となっている。さらに、p側電極コンタクト抵抗が高いために動作電圧が高くなるばかりか、p側電極金属とGa_Nが通電時に反応し劣化をおこすためにレーザの連続発振が困難であった。

【0009】本発明は、上記の事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、p側電極とp側電極コンタクト層との間に生じるコンタクト抵抗を低くすることができ、低しきい値電流、低動作電圧で劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子及びその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

（構成）上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、単結晶の窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なる一対のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する

窒化ガリウム系化合物半導体素子であって、前記ダブルヘテロ構造のp側コンタクト層とp側電極との間に、多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してなることを特徴とする。

【0011】また本発明は、上記構成の窒化ガリウム系化合物半導体素子の製造方法において、ダブルヘテロ構造の一方側に有機金属気相成長法によりp型コンタクト層を形成した後に、該コンタクト層上に蒸着法又は有機金属気相成長法により多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成し、次いで多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層上にp側電極を形成することを特徴とする。

【0012】ここで、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

(1) 単結晶の窒化ガリウム系化合物半導体は、 $Ga_{x1}In_{y1}Al_{z1}N$ ($x1+y1+z1=1$, $0 \leq x1, y1, z1 \leq 1$) からなり、多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、 $Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N$ ($x2+y2+z2=1$, $0 \leq x2, y2, z2 \leq 1$) からなり、p側コンタクト層はMgを添加したものであること。

【0013】(2) 多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、厚さが10nm以下であり、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のp型であること。

(3) 多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、GaNであること。

【0014】(4) 活性層は、GaN井戸層とAlGaN障壁層を交互に積層した多重量子井戸構造であること。

(作用) p側電極とp側コンタクト層(例えばGaN)で生じるコンタクト抵抗は、界面に存在する2eV近い高さの障壁によるものである。この障壁高さを低減させることにより印加時の電流は流れやすくなり、コンタクト抵抗の低減を図れる。この障壁の高さは、用いるp側電極の材料に依存し、金属の仕事関数が高いほど障壁高さは小さくなるが、窒化ガリウム系半導体自身のバンドギャップが大きいために、金属材料を選んでもその効果は小さい。

【0015】また、p型GaN等の窒化ガリウム系化合物半導体のバンドは表面で障壁高さを増大させる方向に大きく曲がっており、その程度は表面状態、つまり表面に存在する不純物や結晶性にも依存することが判ってきた。

【0016】本発明では、窒化ガリウム系化合物半導体($Ga_{x1}In_{y1}Al_{z1}N$: $x1+y1+z1=1$, $0 \leq x1, y1, z1 \leq 1$) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ窒化ガリウム系化合物半導体素子において、p側コンタクト層とp側電極との間に生じる障壁高さを見掛け上低減するために、この界面に故意に準位を設けて、電流のパスを可能にする手法をとる。

【0017】概念的な図を図2に示す。(a)は従来の構造でp-GaNと電極金属との接合を表しており、2eV近いショットキー障壁が存在している。ここで、

(b)に示すように界面準位を形成することにより、或いは表面状態を変化させることにより、表面近くのバンドの曲がりも小さくなり、界面の準位を介して電流が流れ易くなりコンタクト抵抗が小さくなる。

【0018】具体的には、p側コンタクト層の表面に、多結晶 $Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N$ ($x2+y2+z2=1$, $0 \leq x2, y2, z2 \leq 1$) を形成することにより、バンドの曲がりを低減し、さらに界面準位を形成し、p側電極との間のコンタクト抵抗を低減したことを特徴とする。

【0019】ここで、多結晶層をp側電極材とp側コンタクト層との間に挿入した場合、多結晶層が10nm以上の厚さになるとリーク電流が増加し、見掛け上の抵抗は低減するが、低しきい値電流、低動作電圧で劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することはできない。従って、多結晶 $Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N$ 層は10nm以下であるのが望ましい。

【0020】また、多結晶 $Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N$ 層は、不純物添加により $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上のp型半導体であることが望ましい。多結晶GaInAlNの不純物濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上が望ましい理由は、それ以下であるとバンドの曲りが障壁高さの大きい方向へ動く可能性があること、また挿入多結晶自身の抵抗も大きくなり、接触抵抗低減には好ましくないためである。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

(第1の実施形態) 図1は、本発明の第1の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0022】サファイア基板1上に、GaNバッファ層2、n型GaNコンタクト層3(Siドーパ; $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ4 μm)、n型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層(Siドーパ; $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ0.3 μm)4、GaN導波層(アンドープ、厚さ0.1 μm)5、MQWの活性層6、GaN導波層(アンドープ又はMgドーパ、厚さ0.1 μm)7、p型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層(Mgドーパ; $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ0.3 μm)8、p型GaNコンタクト層3(Mgドーパ; $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ1 μm)9が上記順に形成されている。なお、MQW活性層6は、GaN井戸層とAlGaN障壁層とを交互に積層してなるものである。

【0023】上記の多層構造のp型GaNコンタクト層9上の一部には5nm厚のp型多結晶GaN層10が形成され、その上に10nmのPt膜11及び1 μm 厚のAu電極パッド12が順次積層され、これによりp側電極が形成されている。

【0024】また、p型GaNコンタクト層9の最表面

の一部は、n型Ga_{0.9}Nコンタクト層3に達する深さまでドライエッチング法により除去され、露出したGa_{0.9}Nコンタクト層3上にはn型電極Ti/Au13が形成されている。

【0025】次に、このような青色半導体レーザの製造方法及び作用について説明する。図1中、サファイア基板1上のGa_{0.9}Nバッファ層2からp型Ga_{0.9}Nコンタクト層9までの各層は、1回のMOCVD成長により形成する。

【0026】次いで、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層9の表面に幅10μmの領域に多結晶のGa_{0.9}Nを5nm厚さに蒸着法により形成する。続いて、300℃の窒素雰囲気中で熱処理をするとp型Ga_{0.9}Nコンタクト層9内に過剰にあったMgが多結晶Ga_{0.9}N部に拡散し、p型の多結晶Ga_{0.9}N層10が形成される。また、300℃の熱処理によりp型多結晶Ga_{0.9}N層10は、多方位を持ち粒塊の揃った多結晶となる。その上に、さらに10nmのPt膜11及び1μmのAuパッド12を順次積層してp側電極を形成する。

【0027】次いで、n側電極13形成のためにp側電極を含んだメサ形状を形成し、メサ下部に現れたn型Ga_{0.9}Nコンタクト層3上にTi/Auによりn側電極13を形成する。ここで、n側電極13形成の後にp側電極を形成してもよい。この後、サファイア基板1は50μmまで鏡面研磨され、p側電極の長手方向に対して垂直方向にへき開され、1mm長のレーザチップが形成される。

【0028】かくして形成された青色半導体レーザは、しきい値電流80mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は7Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。

【0029】本発明の実施形態に基づく半導体レーザは、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層9とp側電極11、12との間にp型多結晶Ga_{0.9}N層10を形成しているため、コンタクト部に前記図2(b)に示すような界面準位が形成され、この界面準位を介して電流が流れ易くなりコンタクト抵抗が小さくなっている。さらに、p型多結晶Ga_{0.9}N層10を5nmと薄くしているため、リーク電流が増加する等の不都合もない。このため、低しきい値電流、低動作電圧で劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することができる。

【0030】また、本実施形態に基づく半導体レーザの電流電圧特性を、図3に示す。同図の曲線31が本実施形態による半導体レーザの特性である。同図の曲線32は、上記実施形態において、多結晶Ga_{0.9}N層10を備えていない半導体レーザの電流電圧特性を比較例として示したものである。この特性曲線から明らかなように、曲線32の特性は完全なダイオード特性となっており、また電圧の立ち上がりも15V程度と非常に高くなって

おり、発光は確認できたが数分で劣化した。

【0031】また、本実施形態の形態と構造的には同一であるが、製造方法の異なる例として、MOCVD法によりp型Ga_{0.9}Nコンタクト層9まで成長した後、そのままMOCVD装置内で、温度を降下させて連続して低温成長をすることにより5nmの多結晶Ga_{0.9}N層10を形成する。このとき、多結晶Ga_{0.9}N層10にはp型Ga_{0.9}Nコンタクト層9と同様に、DMGによりMgを添加させている。この場合も、多結晶Ga_{0.9}N層10を蒸着で形成した場合と同様の効果が得られるのが確認された。

【0032】(第2の実施形態)図4は、本発明の第2の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0033】本実施形態の半導体レーザは、第1の実施形態に比べ、より一層のコンタクト抵抗の低減を図るものであり、具体的には図4に示すように、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層9の上に更にコンタクト層としてp型In_{0.1}Ga_{0.9}N層41が挿入され、多結晶Ga_{0.9}N層10の替わりに多結晶のp型In_{0.1}Ga_{0.9}N層42が形成されている。それ以外の構成は、第1の実施形態と全く同様である。

【0034】本実施形態レーザの場合、p型InGa_{0.9}N層は単結晶41の場合も多結晶42の場合も共に、p型Ga_{0.9}N単結晶9及びp型Ga_{0.9}N多結晶10よりバンドギャップが狭いため、ショットキー障壁が低くなり、電極コンタクト抵抗が第1の実施形態に比べて20%の低減ができた。

【0035】このように本実施形態によれば、バンドギャップの狭いp型多結晶InGa_{0.9}Nを同様にバンドギャップの狭いp型InGa_{0.9}Nコンタクト層とPt電極との間に挿入しているため、第1の実施形態の効果に加え、p側電極とのコンタクト抵抗を一層低減させることができ、これによって動作電圧のより一層の低減化などを行うことができる。この場合、p型InGa_{0.9}N層41とp型多結晶InGa_{0.9}N層42におけるIn組成は同一である必要はない。

【0036】(他の実施形態)なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。実施形態で述べた半導体層の組成や膜厚は、単なる一例にすぎず、仕様に応じて適宜変更可能である。さらに、半導体層の導電型が逆の構造であってもよい。

【0037】例えば、p側コンタクト層とp側電極との間に挿入する多結晶の窒化ガリウム系化合物半導体層は、Ga_{0.9}NやInGa_{0.9}Nに限るものではなく、一般式Ga_{x2}In_{y2}Al_{z2}N(x₂+y₂+z₂=1, 0≤x₂, y₂, z₂≤1)で定義されるものであればよい。また、その膜厚は10nm以下であればよく、キャリア濃度は1×10¹⁷cm⁻³以上であればよい。

【0038】また、実施形態では半導体レーザを例にと

って説明したが、本発明はLED等の発光素子に適用することもできる。さらに、発光素子以外にも、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた受光素子やトランジスタなどの電子デバイスにも適用可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0039】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、p側電極とp側コンタクト層の間に、望ましくは厚さ10nm以下、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のp型窒化ガリウム系化合物半導体層を挿入することにより、低抵抗p型コンタクトを安定に実現することができる。これにより、低しきい値電流、低動作電圧で劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図2】本発明の電極とコンタクト層におけるバンド構造の概念を従来例と比較して示す図。

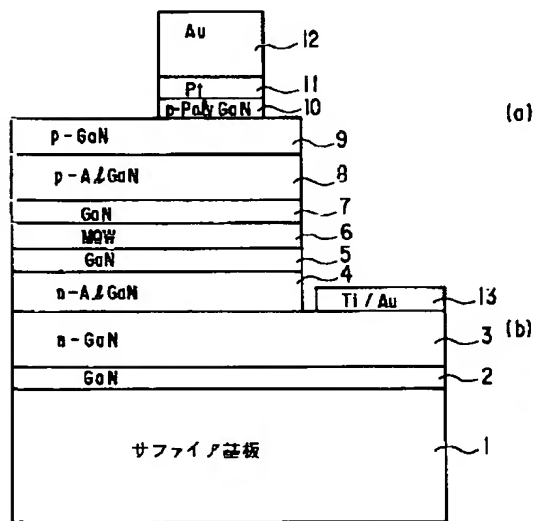
【図3】図1における半導体レーザの電流電圧特性を比較例と共に示す図。

【図4】第2の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

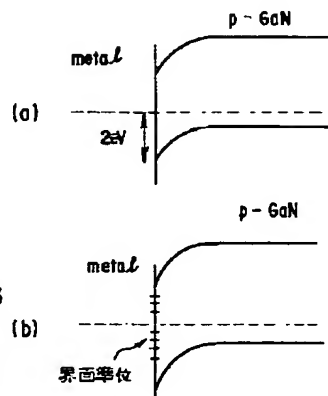
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…Ga_{0.2}Nバッファ層
- 3…n-GaNコンタクト層
- 4…n-Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層
- 5…n-GaN導波層
- 6…活性層
- 7…p-GaN導波層
- 8…p-Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層
- 9…p-GaNコンタクト層
- 10…p-GaN多結晶層
- 11…Pt膜
- 12…Au電極パッド
- 13…n側電極
- 41…p-InGa_{0.2}Nコンタクト層
- 42…p-InGa_{0.2}N多結晶層

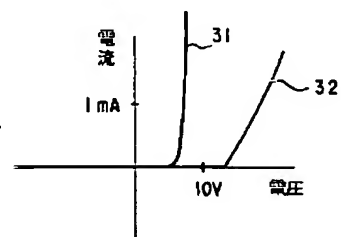
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

